

Vékony polimer lemezek kavará dörzshegesztése

A cikkben 2 mm vastagságú, különböző polimer anyagokon elért szilárdsági eredményeket mutatjuk be korona- és gyökoldalról történő hajlítással az alapanyag hajlítószilárdságához hasonlítva. Fénymikroszkópos felvételekkel mutatjuk be az így kialakult varrat szerkezetét.

Szerző

Dr. Kiss Zoltán, PhD, adjunktus*

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

Bevezetés

A '90-es évek elején Thomas és munkatársai fejlesztették ki a kavará dörzshegesztési eljárást (Friction Stir Welding – FSW), amellyel egy lépésben, különösebb előkészítés nélkül tudtak akár több tíz mm vastagságú alumínium alkatrészeket összehegesztetni [1]. Az eljárás egyik nagy előnye, hogy alkalmazásához különleges eszközökre nincs szükség, akár egy egyszerű marógépben is lehetőség van hosszirányú varratok készítésére. Fémek kavará dörzshegesztése napjainkban is intenzíven kutatott terület [2]. Hegesztés közben először egy forgó szerszámot az összehegesztendő lemezek közé nyomnak, majd a keletkező súrlódási hő megolvasztja a lemezeket, ezután a szerszámot egy adott hegesztési irány mentén végigvezetve a szerszám mögött létrejön a varrat. Az eljárás elsősorban tompavarratok készítésére lett kidolgozva [3,4].

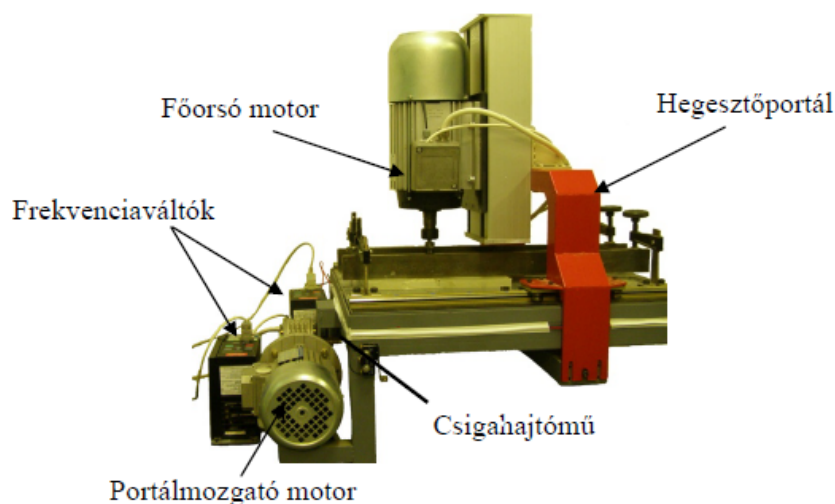
Polimerek kavará dörzshegesztésekor a szerszámmal együtt forgó váll helyett egy álló fém papucsot alkalmaztak Strand és munkatársai, amit kiegészítő fűtéssel láttak el [5]. Munkájuk során különböző szerszámtérőkkel és hegesztési beállításokkal hegesztettek össze polipropilén lemezeket és vizsgálták a hegesztő szerszám előrehaladásának (előtolás) és simítópapucs hőmérsékletének hatását. Bár a szakirodalomban egyre több munka figyelhető meg polimerek kavará dörzshegesztésével kapcsolatban, az ipari alkalmazás még várat magára műanyagok esetében.

Jelenlegi kutatásunk célja a kavará dörzshegesztés polimer anyagokra történő alkalmazhatóságának elemzése, a varrat szilárdságát befolyásoló tényezők feltárása [6]. Cél

továbbá az eljárás alkalmazhatóságának vizsgálata hőre lágyuló polimer mátrixú kompozitoknál is, mivel erre a dinamikusabban fejlődő szerkezeti anyagra még nem létezik jól működő hegesztési eljárás, ugyanis a legtöbb műanyaghegesztésnél nem valósul meg az erősítőszálak megfelelő kapcsolata a varrat és alapanyag határán [7]. E cikkben rövid betekintést szeretnénk nyújtani a kísérleteinkről, bemutatva, hogy az egyes polimer anyagtípusok hegesztése nagymértékben más-más megközelítést követel meg.

Felhasznált anyagok és módszerek

A vizsgálatokat a BME Polimertechnika Tanszékén készült, egyedi építésű célgépen hajtottuk végre (1. ábra). A gépen korábban polipropilén anyag hegeszthetőségét vizsgálták számos szakdolgozat, diplomamunka és TDK dolgozat keretein belül, illetve PhD dolgozat formájában [8]. A Tanszék hallgatói jelenleg a 2 mm vastagságú műanyag lemezek hegeszthetőségével foglalkoznak. A Tanszéken folyó kutatás kezdeti szakaszában nyilvánvalóvá vált, hogy a kavarási dörzshegesztés eredetileg kidolgozott megoldása (amikor is a forgó szerszám egy vállrésszel is rendelkezik), polimerek esetében nem vezet esztétikus megoldásra. Ezért a Tanszéken épített gép egy PTFE (teflon) papuccsal rendelkezik, amelynek funkciója a megolvadt-képlékeny anyag varratrészben tartása és sima, esztétikus felület létrehozása.

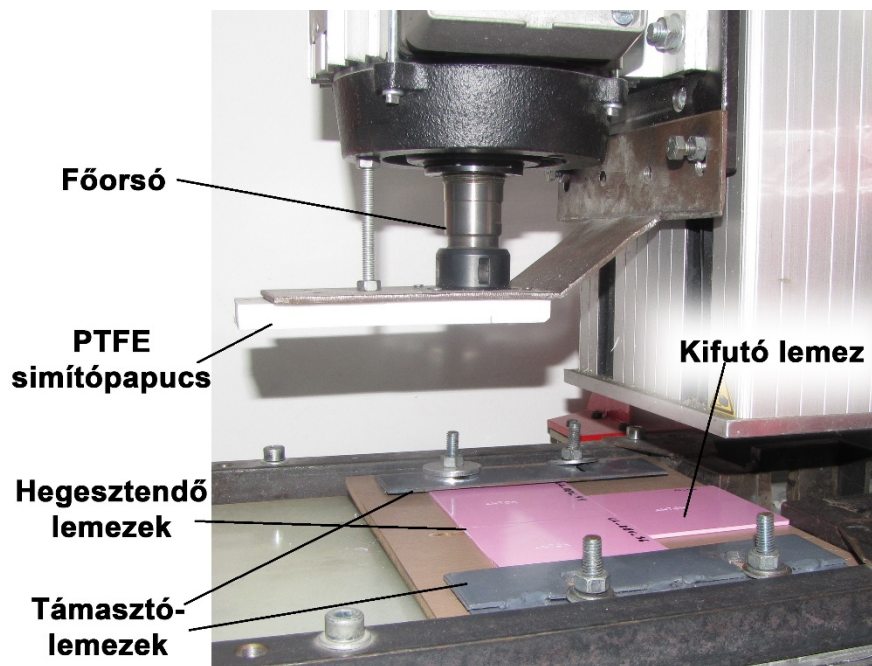


1. ábra A hegesztéshez használt gép

Jelen cikkben szereplő eredmények 80x80 mm-es, 2 mm vastag lemezek tompahegesztésével készültek különböző polimer anyagok felhasználásával. Szerszám egy 5 mm átmérőjű ujjmaró volt, amit a hegesztési folyamat alatt visszafelé (forgácsolási iránnyal ellentétesen) forgott. A

BME Polimertechnika Tanszéken a korábbi kutatások során 10 mm vastagságú polipropilén lemezeket hegesztettünk, így alkalmassá kellett tenni a hegesztőgépet a vékony lemezek befogására. A hegesztési elrendezésen látható, hogy elkészült egy alsó támasztólemez és az oldalirányú elmozdulást gátló befogó, amelybe a lemezek hegesztés előtt becsúszathatók, utána pedig hasonlóképpen eltávolíthatók (2. ábra).

A hegesztett varrat minősítésére definiálható egy úgynevezett jósági fok, ami egy adott anyag hegesztett varratához tartozó maximális hajlítószilárdság és az alapanyag hajlítószilárdságának hányadosa. Természetesen a jósági fok értelmezhető húzási esetben is, de hegesztett kötések gyakrabban veszik igénybe hajlított esetben (például tartályok falánál), ráadásul hajlítással lehetőség van koronaoldalról és gyökoldalról hajlítani a próbatesteket, így több információt kapunk a varratról.



2. ábra 2 mm-es lemezek hegesztéséhez átalakított támasztólemez és a hegesztési elrendezés

Kísérletek során többféle polimer szerkezeti anyagot is alkalmaztunk, ezek:

ABS: Az akrilnitril-butadién-sztirol az egyik leggyakrabban alkalmazott amorf, műszaki műanyag. Széles körben, az ipar minden területén elterjedten használt, amorf szerkezetű műanyag. Nagy húzószilárdsággal, jó ütésállósággal, valamint jó csillapítóképességgel rendelkezik (zaj és rezgés). A vizsgálatokhoz használt alapanyag a BASF által gyártott ABS Terluran GP35 volt.

PET: A polietilén-tereftalát egy részben kristályos szerkezetű műanyag, amelynek a felhasználása az utóbbi időben nagy mértékben növekedett, főként a csomagolóiparban. Szerkezete függ a hűtési sebességtől is, ugyanis lassú hűtés esetén nagy kristályos részarányú anyagot, míg gyors hűtés alkalmazása esetén amorf anyagot kapunk. A részben kristályos PET nagy mechanikai szilárdsággal és merevséggel rendelkezik, az amorf PET felhasználhatósága 65°C alá korlátozódik. A vizsgálatokhoz használt alapanyag a Fe-Group Invest Zrt. által válogatott, tisztított és darált PET palack hulladék, gyakorlatilag reciklált (újrahasznosított) műanyag.

PA: A poliamid jó kopás- és hőálló, de hidrofil tulajdonságú, oxidációra érzékeny, könnyen éghető műszaki műanyag. A gép-, villamos- és járműipar mégis előszeretettel alkalmazza. Erősítés nélküli és üvegszál erősítésű anyagot is vizsgáltunk. Erősítés nélküli: PA Lanxess Durethan B 30S. 30 tömeg%-ban üvegszálás: Akulon K224-G6 PA6-30GF (DSM).

PLA: A politejsav (polylactic-acid) napjainkban egyre népszerűbb biodegradábilis (lebontható) műanyag, amely olajnak, zsírnak jól ellenáll és viszonylag jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Orvostechikai alkalmazásai széles körűek a biokompatibilitása miatt. Többek között ilyen a sebészeti varró fonal, a lebomló implantátumok, de ebből készülhetnek hétköznapi lebomló műanyagok is, például zacskók vagy virágcserepek. Erősítetlen és 5 tömeg% bazaltszál erősítésű PLA-t vizsgáltunk. A vizsgálatok során alkalmazott alapanyag a NatureWorks LLC biopolimereket gyártó cég Ingeo™ Biopolymer 4032D típusú terméke, amibe erősítőanyagként a kifejezetten bazaltszál gyártására specializálódott Kamenny Vek cég Basfiber® BCS TDS KV12 jelű terméke került.

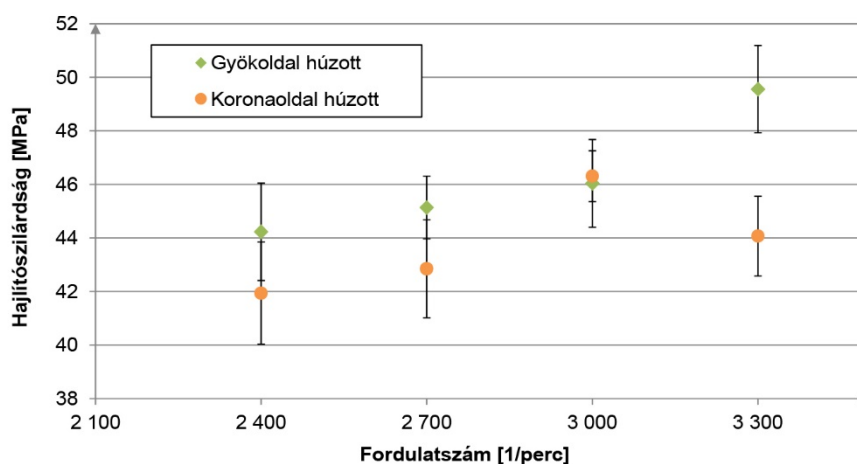
Kísérleti eredmények

Előkísérleteket kellett végezni annak érdekében, hogy a bemutatott polimer típusoknál milyen fordulatszámokban lehet értékelhető kötéseket létrehozni. Kavaró dörzshegesztésnél a meghatározó paraméterek a szerszám fordulatszáma, a szerszám előtolási sebessége, valamint a szerszám fogásmélysége. Ez utóbbi gyakorlatilag az az érték, amennyire a szerszám behatol az összehegesztendő lemezek közé, miközben a simítópapucs a lemezek felső felületéhez illeszkedik. A szerszám fogásmélysége nem lehet nagyobb a hegesztendő lemezek vastagságánál, jelen esetben 2 mm-nél, de célszerűbb kicsit kisebb értéket beállítani, amivel

egyenletesen átolvadt gyököt kaphatunk, minimálisra csökkentett gyökhibákkal. Az előtolási sebesség a hegesztő berendezés lehetőségein belüli tartományban nem mutatott lényegi hatást a kialakult varrat szilárdságára (jelentősebb hatása van a munkadarabokra ható előtolási irányú erő kialakulásában, ami a lemezek elmozdulás-mentes befogását megnehezíti). Ezen megfontolások alapján jelen cikkünkben állandó 70 mm/perc-es előtolási sebességű, 1,75 mm fogásmélységű és 2400-3300 1/perc-es fordulatszám tartományban elvégzett hegesztések eredményét közöljük, példaként az ABS anyagon.

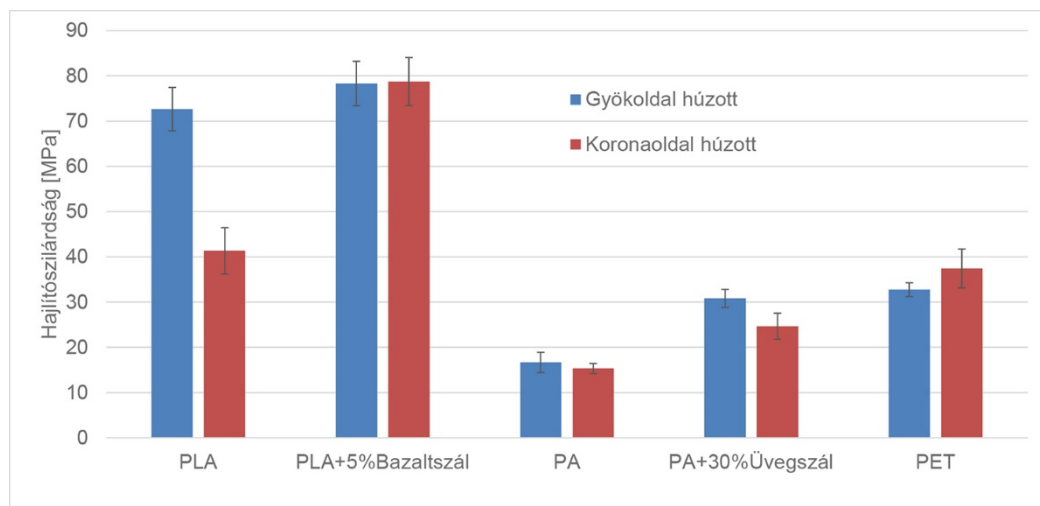
Három-pontos hajlítóvizsgálat során megkülönböztettük azt a két esetet, amikor a középső nyomófej a varrat koronaoldalával, illetve a varrat gyökoldalával érintkezett. Az előbbi esetben a gyökoldalon alakul ki húzó igénybevétel, míg utóbbi esetben a varrat koronaoldalán.

Alapvetően elmondható, hogy a hegesztés során alkalmazott fordulatszám és előtolás értékek mellett jó minőségű, esztétikus varratok készültek, ami azt mutatja, hogy az alkalmazott paraméterek mellett a folyamat stabil és jól reprodukálható (3. ábra). Megfigyelhető, hogy a varratgyök húzásakor a fordulatszám növekedésével monoton növekszik a varratszilárdság. Hasonló megállapítás tehető a koronaoldalra is, azzal a különbséggel, hogy a 3300 1/perc-es fordulatszám értéknél egy kisebb csökkenés következik be, illetve itt a gyök és koronaoldal közti különbség is jelentősen növekedik. Ezt okozhatja a túl nagy a hőbevitel, aminek hatására az ABS ömledék-viszkozitása annyira lecsökken, hogy a koronaoldal „szétfolyik”, nagymértékű beszívódások, felületi egyenetlenségek alakulnak ki. Általánosságban megfigyelhető, hogy a koronaoldal húzó igénybevétele esetén gyengébb a varrat.



3. ábra Kavaró dörzshegesztett ABS lemezek hajlítószilárdsága a fordulatszám függvényében, kétféle hajlítási esetben

A hajlítási eredmények alapján az optimálisnak ítélt paraméterek 2 mm vastag ABS lemezek esetén, adott szerszámnál és fogásmélységnél: 3000 1/perc-es fordulatszám és 70 mm/perc-es előtolás. Amellett, hogy a gyök- és koronaoldali értékek szilárdság tekintetében is viszonylag magasak, ennél a paraméterpárnál áll egymáshoz legközelebb a két hajlítási irány. További érvként említhető a szórások elfogadható értéke, ami az adott beállítások melletti jó reprodukálhatóságot jelzi. Ha az alapanyag hajlítószilárdságához (65 MPa) viszonyított jósági fokot tekintjük, akkor ez ABS és a kiválasztott paraméterek esetében 71% körüli értékre adódik. Továbbiakban az ABS-nél kiválasztott hegesztési paraméterekhez tartozó szilárdsági értékeket mutatjuk be PET, PA, üvegszálas PA, PLA és bazaltszálas PLA polimerek esetében (4. ábra).



4. ábra 3000 1/perc fordulatszámon hegesztett anyagok hajlítószilárdsága

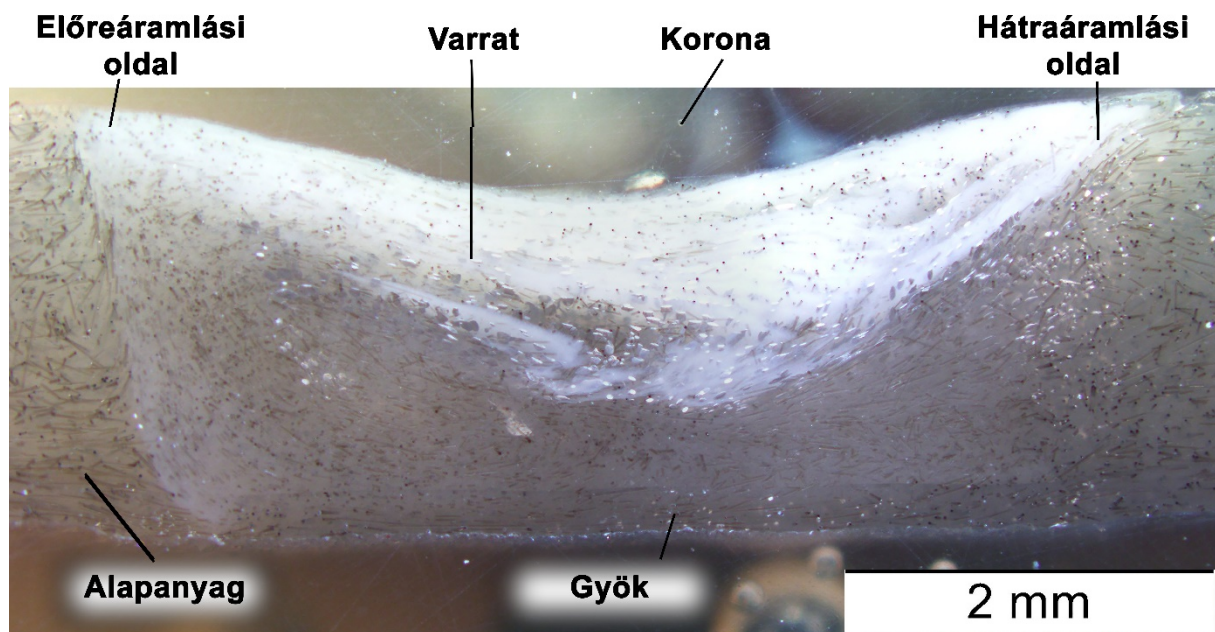
Kiugróan rossz értékeket a PA és a PA+30tömeg% üvegszál esetén figyelhetünk meg, de a PET anyag hegesztése sem tekinthető megfelelőnek. Ennek magyarázata, hogy a hegesztési paraméterek megkívánt értékei eltérnek az ABS anyag megfelelő beállításaitól. Poliamid anyagnál, annak vízmegkötő tulajdonsága is ronthatta a varratok mechanikai tulajdonságait, ugyanis a lemezek fröccsöntés után-hegesztés előtt, a gondos tárolás ellenére is vettek fel nedvességet, illetve a hegesztés is szabad levegőn, normál páratartalomon történt. PET anyag esetében egyértelműen a lassan kihűlő varrat kristályosodása jelenti a problémát, amit a varrat gyors hűtésével lehetne megakadályozni. Erre egy temperált simítópapucs lehetne a megoldás, ami további kutatások feladata lesz.

A hegesztett kötések jósági foka az 1. táblázatban figyelhető meg és tulajdonképpen a 3. és 4. ábrákon szemléltetett eredményeknek a számszerűsítése. Az eredményeket tekintve elmondható, hogy az összes vizsgált anyagból sikerült hegesztett kötéseket létrehozni, ABS esetén kifejezetten jó minőségben. Belátható, hogy a paraméterek optimalizálást műanyagoként kell elvégezni, így további kutatásunkban vizsgáljuk, hogy a többi anyag esetén mi tekinthető optimális hegesztési beállításoknak valamint, hogy ezek alkalmazása mellett milyen minőségű varratok elkészítése lehetséges.

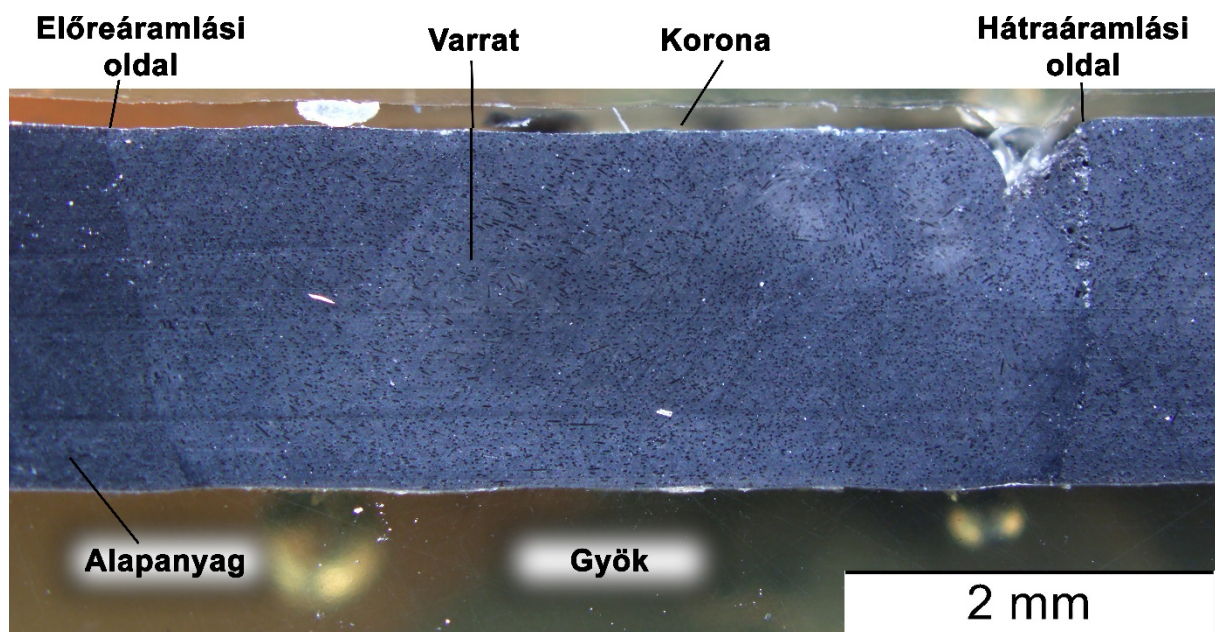
Anyag	Jósági fok, ha a gyökoldal húzott [%]	Jósági fok, ha a koronaoldal húzott [%]
ABS	70,8	71,2
PET	40,9	46,8
PA	15,2	13,9
PA+30%üvegszál	13,1	10,5
PLA	90,8	51,7
PLA+5%bazaltszál	62,6	62,9

1. táblázat Különböző műanyagok, 3000 1/perc fordulatszám és 70 mm/perc előtolás (ABS-re optimalizált) mellett készült varratainak a jósági foka, megkülönböztetve a gyök, ill. korona oldal szerint

A mikroszkópos vizsgálatot az 5%-os bazaltszál erősítésű PLA lemezek és a 30 % üvegszálat tartalmazó PA lemezek hegesztett kötésein mutatjuk be Olympus BX 51M típusú optikai mikroszkóp felhasználásával. A vizsgálat célja az volt, hogy igazolja a mechanikai vizsgálatok után levont következtetésünket, hogy a hegesztési folyamat után lesznek olyan erősítőszálak, amik összekapcsolják az alapanyagot a varrattal. Ennek eredményeképpen készült az 5. és 6. ábra.



5. ábra PLA+5% bazaltszál varrat keresztmetszete



6. ábra PA+30% üvegszál varrat keresztmetszete

Az 5. ábrán megfigyelhető a bazaltszálak jelentős mértékű töredezése, orientációjuk megváltozása a varratban, továbbá látható pár olyan szál ami „áthidalja” a varrat és az alapanyag találkozását. Fehéres elszíneződésen látható, hogy PLA varratok koronaoldala a hegesztés után kikristályosodott. Ez a jelenség erősítetlen PLA esetében is tapasztalható volt. A 6. ábrát vizsgálva az alapanyag színe miatt ugyan kevésbé egyértelműen, de hasonló

megállapításokat tehetünk. Érdekes különbség a két anyag között, hogy PLA esetén egyértelmű, jól látható beszívódás tapasztalható a koronán, viszont a PA varrat beszívódástól mentes koronával rendelkezik. A PA hátraáramlási oldalán, felfedezhetők légzárványok, ezzel szemben a PLA varratnál nem látható ilyen hiba.

Összegzés

E cikkben a vékony, 2 mm vastagságú polimer lemezek kavarási dörzshegeszthetőségét elemeztük. ABS lemezek felhasználásával különböző fordulatszámokon elvégzett hegesztések alapján megállapítható, hogy a 2 mm vastag ABS lemezek megfelelő hegesztési paraméterei 1,75 mm-es fogásmélység mellett: 3000 1/perc-es fordulatszám, 70 mm/perc-es előtolás. Ezekkel a beállításokkal 70% feletti jósági fokú varratok készíthetők, amelyeknek a reprodukálhatósága is jó. Az ABS varratok tönkremenetele - műanyaghegesztésnél kedvezőnek számító - szívós jellegű. Ezt követően a PET, PA, PLA varratokat elemeztünk az ABS-nél alkalmazott hegesztési beállításokkal. A PET esetén a varratok jósági foka maximum 46,8%, ami nem számít kiemelkedőnek, ráadásul a PET minták tönkremenetele az ABS-sel ellentétben rideg jelleget mutatott. A PA és PLA vizsgálatánál az erősítetlen minta gyengébb, de szívósabb, mint a szálerősítéses, amiből egyértelműen arra lehet következtetni, hogy a hegesztési folyamat után lesznek olyan szálak, amik a varratnak és az alapanyagnak is a részei, valamint még 3000 1/perc-es fordulaton sem töredeznek annyira a szálak, hogy az erősítő hatásuk teljesen megszűnjön. Ezt később a mikroszkópos vizsgálat is alátámasztotta. A PA a többihez képest kiugróan rossz jósági fokot produkált (10-15%), míg az erősítetlen PLA jósági foka 90% fölötti. A vizsgált anyagok esetén a kavarási dörzshegesztéssel készült varratoknál a korona oldalt hajlítva szilárdság és lehajlás szempontjából is kisebb értékek adódnak, célszerű tehát az alkalmazás során olyan terhelésnek kitenni a hegesztett kötést, ami a gyök oldalt veszi igénybe húzásra. A tönkremenetel során kialakuló törés, az esetek 90%-ában a hátraáramlási oldalon következik be.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült

Irodalomjegyzék

1. Thomas W.M.: Friction stir butt welding, International Patent Application No PCT/GB92 Patent Application No.9125978.8 (1991).
2. Meilinger Á., Török I.: A lineáris dörzshegesztéssel készült kötés kialakulása, szerkezete. Hegesztéstechnika, 24, 35-38 (2013).
3. Mishra R.S., Ma Z.Y.: Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering, 50, 1-78 (2005).
4. Thomas W. M.: A kavaró dörzshegesztés továbbfejlesztése. Hegesztéstechnika, 14, 5-8 (2003).
5. Strand S. R.: Effects of friction stir welding on polymer microstructure, MSc Thesis, Department of Mechanical Engineering, Brigham Young University (2004).
6. Kiss Z, Czigány T.: Microscopic analysis of the morphology of seams in friction stir welded polypropylene. Express Polymers Letters, 6, 54-62 (2012).
7. Czigány T., Kiss Z.: Friction stir welding of fiber reinforced polymer composites. 18th International Conference on Composite Materials (ICCM18), South-Korea, Jeju, Augusztus 22-26, 2011. Paper ID: Th11-4-AF0685, p. 6 (2011).
8. Kiss Z.: Polimerek kavaró dörzshegesztése. PhD érkezés. BME Pattantyús Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola. Védés éve: 2011.